

DE 19753084 A1

page 12
Not per va

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein OFDM-Empfangssystem (OFDM = "Orthogonal Frequency Division Multiplexing", d. h. orthogonales Frequenzteilungsmultiplexen), insbesondere eine Vorrichtung zum Korrigieren eines Frequenz-Offsets, der durch eine Differenz zwischen Sende- und Empfangsfrequenz in einem OFDM-Empfangssystem innerhalb 1/4 des Bereichs des Trägerfrequenzintervalls verursacht wird.

In einem herkömmlichen drahtlosen Kommunikationskanal und einem digitalen HDTV-Übertragungskanal (HDTV = "High Definition Television", d. h. hochauflösendes Fernsehen) wird eine Zwischenzeichenstörung bzw. -interferenz (ISI = "Inter-Symbol Interference", d. h. Zwischenzeichenstörung) durch Auftreten eines Mehrwege-Überblendens ("multipath fading") in einem Empfangssignal erzeugt. Falls insbesondere Hochgeschwindigkeitsdaten für das HDTV über den Kanal übertragen werden, steigt die ISI an und verursacht Fehler, die während der Wiedergewinnung der Hochgeschwindigkeitsdaten am Empfangsende erzeugt werden. Um dieses Problem zu lösen, ist kürzlich eine OFDM-Technik implementiert worden, um eine geeignete Maßnahme gegen das Problem des Mehrwege-Überblendens in dem digitalen Audio-Übertragungsstandard (DAB = "Digital Audio Broadcasting", d. h. digitale Audio-Übertragung) und dem HDTV-Standard zur Verfügung zu stellen. Die OFDM-Technik konvertiert seriell eingegebene Zeichenströme mit einer Anzahl an N Zeichen, multiplext die Anzahl an N parallelen Zeichen in verschiedene Unter- bzw. Zwischenträgerfrequenzen, addiert all die gemultiplexten Daten und überträgt die addierten Daten. Hierbei wird die Anzahl an N parallelen Daten als ein Einheitsblock definiert, und jeder Unterträger des Einheitsblocks weist eine orthogonale Eigenschaft auf, die keinen Einfluß auf Inter-Unterträgerkanäle hat. Verglichen mit einem herkömmlichen Trägerübertragungsverfahren kann das OFDM-Verfahren das Auftreten der durch das Mehrwege-Überblenden verursachten ISI vermindern, indem es dieselbe Zeichenübertragungsrate aufrechterhält und die Zeichenperiode um die Anzahl an Unterträgerkanälen (N) erhöht. Insbesondere wird beim OFDM-Verfahren ein Schutzintervall (SI) zwischen die übertragenen Zeichen eingefügt für eine Verminderung der ISI, was einen vereinfachten Aufbau eines gewünschten Kanalequalizers realisieren läßt. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Frequenzteilungs-Multiplexart (FDM = "Frequency Division Multiplexing", d. h. Frequenzteilungsmultiplexen) hat das OFDM-Verfahren die Eigenschaft, daß die Spektren jedes Unterträgerkanals überlagert werden, um diesem zu einer höheren Spektrumseffizienz verhelfen zu können. Außerdem weist das Spektrum eine Welle mit einer rechteckförmigen Form auf, und eine elektrische Leistung wird gleichmäßig über jedes Frequenzband verteilt, was einer Beeinflussung vom selben Kanalinterferenz- bzw. -störungssignal verhindert.

Jedoch macht eine abrupte Änderung einer Kanaleigenschaft das Frequenzband des Sendesignals für den Doppler-Effekt empfindlich, oder ein instabiler Zustand eines Tuners verursacht eine Nicht-Synchronisation zwischen der Sende- und der Empfangsfrequenz, was zu einem Frequenz-Offset führt. Der Frequenz-Offset vermindert die Dekodierfähigkeit des Empfangssystems, indem er die Phase des Empfangssignals variiert. In einem OFDM-Verfahren, das Mehrfachträger verwendet, wird ein Zeichen entsprechend für jeden Unterkanal erfaßt. Bei Vorliegen eines Frequenz-Offsets wird eine orthogonale Eigenschaft zwischen jeder Unterträgerfrequenz nicht beibehalten, was zu einer Störung bzw. Interferenz zwischen zwei benachbarten Unterkanälen führt. Insbesondere wird jeder Unterträger eng innerhalb einem Band verteilt, da die Anzahl an OFDM-Unterkanälen ansteigt, derart, daß die Interferenz zwischen benachbarten Unterkanälen selbst bei einem kleinen Wert des Frequenz-Offsets erzeugt wird. Folglich ist die Korrektur des Frequenz-Offsets eine der wichtigsten zu berücksichtigenden Angelegenheiten beim Entwurf und der Ausgestaltung eines OFDM-Empfangssystems.

Bezüglich dieser Korrektur des Frequenz-Offsets haben 1995 F. Daffara und O. Adami einen Frequenz-Offset-Korrekturschaltkreis vorgeschlagen, der ein in einem OFDM-Signal enthaltenes Schutzintervall verwendet, und zwar in "A new frequency detector for orthogonal multi-carrier transmission technique", veröffentlicht in Pro. aus VTC '95. In diesem Stand der Technik wird eine charakteristische Kurve, die sich auf den Frequenz-Offset bezieht und mit Bezug auf das Schutzintervall und eine zirkuläre Voreigenschaft des Sendesignals erhalten wird, für die Ausgestaltung eines Frequenz-Offset-Korrekturschaltkreises Unter Verwendung eines PLL (PLL = "Phase-Locked-Loop", d. h. Phasenregelkreis) angewendet.

Der Schaltkreis hat vorteilhaft einen einfachen Aufbau, hat jedoch den Nachteil, daß seine Korrekturfähigkeit abnimmt, wenn der Wert des Frequenz-Offsets ansteigt. Überdies kann der Schaltkreis nicht eingesetzt werden, wenn der Wert des Frequenz-Offsets größer als das Frequenzintervall zwischen den Unterträgern ist.

1994 hat P.H. Moose einen Frequenz-Offset-Korrekturschaltkreis ohne Verwendung eines PLL vorgeschlagen, der sich wirkungsvoll an die Kanalumgebung mittels Abschätzen eines Wertes des Frequenz-Offsets durch Übertragen eines speziellen Zeichenstroms in einem frequenzselektiven Überblendkanal anpaßt, und zwar in "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction" IEEE Trans. Commun. Vol. COM-42, veröffentlicht im Oktober 1994.

Jedoch sinkt bei diesem Verfahren die Übertragungsgeschwindigkeit der Nutzzeichen, wenn der Zeichenstrom wiederholt übertragen wird, und seine Anwendung wird eingeschränkt, falls der Frequenz-Offset (ϵ) größer als das Frequenzintervall zwischen benachbarten Unterträgern ist.

Das heißt, falls der Frequenz-Offset (ϵ) gleich $|\epsilon| > 0,5$ ist, nimmt die Fähigkeit des Empfangsendes zur Offset-Korrektur ab, da der Frequenz-Offset eine zirkuläre Verschiebung zwischen den dekodierten OFDM-Zeichen verursacht, indem die Frequenzen jedes Unterträgers auf eine benachbarte Bandbreite eines Unterkanals durch Ablenkung verschoben ("deflection shifting") werden. Hierbei wird lediglich die zirkuläre Verschiebung erzeugt, wenn der Wert des Frequenz-Offsets eine ganze Zahl ist, wobei sowohl ein Übersprechen, eine benachbarte Kanalstörung bzw. -interferenz, und die zirkuläre Verschiebung erzeugt werden, falls der Wert des Frequenz-Offsets keine ganze Zahl ist, da das Empfangssignal bei der Fourier-Operation als ein diskretes Signal definiert wird.

Falls der Frequenz-Offset (ϵ) gleich $|\epsilon| < 0,5$ ist, wird lediglich das Übersprechen ohne die zirkuläre Verschiebung erzeugt. Falls der Frequenz-Offset eine ganze Zahl ist ($\epsilon = m$, wobei m eine ganze Zahl ist) wird, obwohl keine Störung zwischen einem entsprechenden Kanal und seinem benachbarten Kanal erzeugt wird, ein l-tes Zeichen zu dem (l-m)-ten Unterkanal übertragen. Daher ist in einem System, das ein allgemeines Korrekturverfahren für den Frequenz-Offset ver-

wendet, ein genaues Wiedergewinnen des Sendesignals eingeschränkt.

Dementsprechend wird für eine genaue Korrektur des Frequenz-Offsets zuerst ein Prozeß zum Reduzieren des Frequenz-Offsetwertes innerhalb des Bereiches durchgeführt, in dem keine zirkuläre Verschiebung ($|e| < 1/2$) erzeugt wird, und anschließend ein Erfassungsprozeß für den Frequenz-Offset zum genauen Erfassen des Frequenz-Offsets durchgeführt wird.

In dem oben beschriebenen Verfahren haben 1994 F. Classen und H. Myer ein Frequenz-Offset-Abschätzungsverfahren vorgeschlagen, das zwei Schritte anwendet, einen Erfassungsprozeß zum Reduzieren des anfänglichen Frequenz-Offsets innerhalb eines konstanten Bereiches und einen Nachführungsprozeß zum genauen Verfolgen des Frequenz-Offsets vor der Abschätzung des Frequenz-Offsetwertes, und zwar in "Frequency synchronization algorithm for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels", veröffentlicht 1994 in Proc. aus VTC '94.

Jedoch hat dieses Verfahren das Problem, daß die Anzahl an Berechnungen für den Nachführungsprozeß groß ist, und der Frequenz-Offset nicht entsprechend der Kanaleigenschaften sinkt.

Das heißt, daß, obwohl der Wert des Frequenz-Offsets auf $1/2$ sinkt, die Anzahl an Berechnungen für den Nachführungsprozeß steigt, falls der Wert des Frequenz-Offsets nahe der Grenze von $1/2$ ist.

Hinsichtlich des oben ausgeführten ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zum Korrigieren eines Frequenz-Offsets bereitzustellen, welcher durch eine Differenz zwischen Sende- und Empfangsfrequenz in einem OFDM-Empfangssystem innerhalb $1/4$ des Bereichs des Trägerfrequenzintervalls verursacht wird.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit dem Gegenstand des Anspruchs 1. Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Nach Anspruch 1 ist eine Vorrichtung geschaffen zum Korrigieren eines Frequenz-Offsets in einem OFDM-Empfangssystem mit: einem Schleifenfilter zum Empfangen eines vorgegebenen Phasenwertes, wobei der Phasenwert mit einem Verstärkungsfaktor multipliziert wird, die multiplizierten Werte akkumuliert werden und die akkumulierten Werte ausgegeben werden; einem Spannungsregelungsoszillator zum Multiplizieren des von dem Schleifenfilter ausgegebenen akkumulierten Wertes mit dem Verstärkungsfaktor, zum Rückkoppeln bzw. Rückführen des Ergebnisses und zum Addieren der Rückkopplungs- bzw. Rückführungswerte; einem Derotator ("derotator") zum Ermitteln von Sinus- und Kosinuswellen aus dem von dem Spannungsregelungsoszillator ausgegebenen Ergebnis, zum Multiplizieren der erhaltenen Werte mit einem Ausgangssignal von einem A/D-Wandler, und zum Ausgeben des multiplizierten Wertes an einen OFDM-Demodulator; einer Korrelation-Berechnungseinheit zum Berechnen eines Korrelationswertes aus einem von dem OFDM-Demodulator ausgegebenen Wert; und einer Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung zum Erzeugen eines Phasensignals entsprechend einem sequentiell innerhalb eines vorgegebenen Frequenz-Offset-Bereichs ausgegebenen Frequenz-Offsets, zum Ausgeben des Phasensignals an den Schleifenfilter, zum Bestimmen eines Näherungswertes des Frequenz-Offsets innerhalb $1/4$ des Bereichs des Trägerfrequenzintervalls unter Verwendung eines von der Korrelationsberechnungseinheit für ein korrigiertes Zeichen ausgegebenen Wertes und zum Korrigieren des Frequenz-Offsets entsprechend einem endgültig bestimmten Abschätzungswert des Frequenz-Offsets.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung werden nunmehr anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm, das eine Vorrichtung zum Korrigieren eines Frequenz-Offsets in einem OFDM-Empfangssystem gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 2 ein detailliertes Blockdiagramm, das eine Korrelationsberechnungseinheit aus Fig. 1 darstellt;

Fig. 3 ein Diagramm, das eine PRBS (PRBS = "Pseudo Random Binary Sequenze", d. h. Pseudozufall-Binärsequenz) zum Erzeugen eines Referenzwertes darstellt;

Fig. 4 ein detailliertes Blockdiagramm, das eine Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung aus Fig. 1 darstellt;

Fig. 5 ein Diagramm, das ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines ersten in Fig. 4 dargestellten Generators zeigt; und

Fig. 6 ein Diagramm, das ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines in Fig. 4 gezeigten zweiten Generators darstellt.

Es wurde versucht, dieselben Bezugszeichen für dieselben oder ähnliche Teile in allen Zeichnungen zu verwenden.

Fig. 1 zeigt ein perspektivisches Blockdiagramm eines OFDM-Empfangssystems gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das OFDM-Empfangssystem weist einen ADC (ADC = "A/D-Converter", d. h. A/D-Wandler) 100, einen Schleifenfilter 200, einen Spannungsregelungsoszillator (VCO = "Voltage Control Oscillator", d. h. Spannungsregelungsoszillator) 300, einen Derotator ("derotator") 400, einen OFDM-Demodulator 500, eine Korrelationsberechnungseinrichtung 600 und eine Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung 700 auf.

Der ADC 100 wandelt ein empfangenes Kanalsignal in ein digitales Signal um. Der Schleifenfilter 200 empfängt einen Phasensignalwert gemäß einem von der Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung 700 eingegebenen beliebigen Frequenz-Offset, multipliziert diesen Phasensignalwert mit einem Verstärkungsfaktor, und akkumuliert den multiplizierten Wert und gibt diesen an den VCO 300 aus. Der VCO 300 multipliziert das von dem Schleifenfilter 200 ausgegebene Signal mit einem Verstärkungsfaktor, führt den multiplizierten Wert zurück, addiert das Signal zu dem rückgeführten Wert und gibt den addierten Wert an den Derotator 400 aus.

Der Derotator 400 ermittelt eine Sinuswelle und eine Kosinuswelle aus dem von dem VCO 300 ausgegebenen Wert, multipliziert die Sinus- und Kosinuswelle mit einem von dem ADC 100 übertragenen digitalen Signal und gibt den multiplizierten Wert an den OFDM-Demodulator 500 aus.

Der OFDM-Demodulator 400 weist eine Schutzintervall-Entfernungseinrichtung 510, einen Seriell/Parallel-Inverter 520, einen FFT-Schaltkreis 530 (FFT = "Fast Fourier Transformation", d. h. schnelle Fourier-Transformation), und einen Parallel/Seriell-Wandler 540 auf. Die Schutzintervall-Entfernungseinrichtung 510 empfängt den von dem Derotator 400 ausgegebenen Wert, extrahiert lediglich die Zeichen innerhalb des Nutzzeichenintervalls und stellt dem Seriell/Parallel-Inverter 520 ein extrahiertes Signal bereit. Der Seriell/Parallel-Inverter 520 invertiert serielle Daten in parallele Daten für alle Unterträger und gibt die parallelen Daten an den FFT-Schaltkreis 530 aus. Der FFT-Schaltkreis 530 demoduliert Unterträger mittels einer FFT-Operation. Der Parallel/Seriell-Wandler 540 konvertiert die von dem FFT-Schaltkreis 530 ausgegebenen Daten in serielle Daten und gibt diese aus.

Die Korrelations-Berechnungseinrichtung 600 empfängt einen von dem OFDM-Demodulator ausgegebenen Wert und berechnet eine Korrelation in Zeicheneinheiten.

In einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die Korrelation unter Anwendung eines fortlaufenden Index- bzw. Steuerträgers (CPC = "Continuous Pilot Carrier", d. h. kontinuierlicher bzw. fortlaufender Index- bzw. Steuerträger) berechnet, der an vorgegebener Stelle innerhalb der von dem OFDM-Demodulator 500 ausgegebenen Zeichen vorliegt.

In europäischen Bodenwellen-Übertragungssystemen wird einige Information innerhalb unterschiedlicher Zellen eines zu übertragenden OFDM-Frames bzw. -Bildes bereits bei dem Empfänger als eine Referenzinformation demoduliert. Die die Referenzinformation aufweisenden Zellen werden in einem verstärkten Leistungspegel eines stärkeren Energiesignals übertragen, indem die Amplitude das 1/0,75fache von anderen Zellen ist. Die Informationswerte der Zellen werden aus einer Pseudozufall-Binärsequenz (PRBS = "Pseudo Random Binary Sequence", d. h. Pseudozufall-Binärsequenz) mit einer Wertefolge für jeden übertragenen Träger abgeleitet.

In dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die Korrelation unter Anwendung der CPC berechnet, in einem verstärkten Leistungspegel übertragen und an der vorgegebenen Stelle innerhalb eines OFDM-Zeichens als ein Referenzsignal angeordnet.

In europäischen Übertragungsstandards wird, wie in der nachfolgenden Tabelle 1 gezeigt, der CPC an der vorgegebenen Stelle innerhalb eines Zeichens übertragen.

Tabelle 1

Fortlaufende Steuerträgerstellen																
2K Modus						8K Modus										
0	48	54	87	141	156	0	48	54	87	141	156	192	201	255	279	282
192	201	255	279	282		333	432	450	483	525	531	618	636	714	759	
333	432	450	483	525		765	780	804	873	888	918	939	942	969	984	
531	618	636	714	759		1050	1101	1107	1110	1137	1140	1146	1206			
765	780	804	873	888		1269	1323	1377	1491	1683	1704	1752	1758			
918	939	942	969	984		1791	1845	1860	1896	1905	1959	1983	1986			
1050	1101	1107	1110			2037	2136	2154	2187	2229	2235	2322	2340			
1137	1140	1146	1206			2418	2463	2469	2484	2508	2577	2592	2622			
1269	1323	1377	1491			2643	2646	2673	2688	2754	2805	2811	2814			
1683	1704					2841	2844	2850	2910	2973	3027	3081	3195			
						3387	3408	3456	3462	3495	3549	3564	3600			
						3609	3663	3687	3690	3741	3840	3858	3891			
						3933	3939	4026	4044	4122	4167	4173	4188			
						4212	4281	4296	4326	4347	4350	4377	4392			
						4458	4509	4515	4518	4545	4548	4554	4614			
						4677	4731	4785	4899	5091	5112	5160	5166			
						5199	5253	5268	5304	5313	5367	5391	5394			
						5445	5544	5562	5595	5637	5643	5730	5748			
						5826	5871	5877	5892	5916	5985	6000	6030			
						6051	6054	6081	6096	6162	6213	6219	6222			
						6249	6252	6258	6318	6381	6435	6489	6603			
						6795	6816									

Da die Amplitude (C) der CPC's eine Energie von dem 1/0,75fachen eines herkömmlichen Übertragungssignals (C') hat, hat der Wert des Referenzsignals eine höhere Energie als der Datenträger. Durch Multiplizieren der Referenzsignale miteinander und Addieren der multiplizierten Werte wird ein Korrelationswert erzeugt, der einen maximalen Wert annimmt, wenn der Frequenz-Offset ein minimaler Wert ist.

Dementsprechend wird in dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, wie oben beschrieben, eine Korrelation unter Anwendung des CPC in einem Zeichen erhalten, und der Wert des Frequenz-Offsets wird unter Verwendung der Korrelation erhalten.

Fig. 2 zeigt ein strukturelles Blockdiagramm der in Fig. 1 dargestellten Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600. Die Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 weist einen Extraktor 610, einen Korrelator 620 und einen Referenzwert-generator 630 auf.

Der Extraktor 610 extrahiert lediglich die CPC's an einer vorgegebenen Stelle der Zeichenfolgen, die von dem OFDM-Demodulator 500 ausgegeben werden und gibt diese aus. Der Korrelator 620 berechnet eine Korrelation unter Verwendung des von dem Extraktor 610 ausgegebenem CPC und dem dem CPC entsprechenden Referenzwert, um akkumulativ die Korrelation innerhalb eines Zeichens zu berechnen.

Gleichzeitig kann der Referenzwertgenerator 630 zum Bereitstellen des Referenzwertes an den Korrelator 620 mittels einer PRBS-Folge konstruiert werden bzw. zum Verarbeiten einer PRBS-Folge ausgelegt sein, welche zum Erzeugen des in dem Zeichen am Übertragungsende enthaltenen Referenzwertes verwendet wird.

Die PRBS-Sequenz wird, wie in Fig. 3 gezeigt, initialisiert, wenn ein erstes Ausgangsbit aus einer PRBS einem ersten aktiven Träger entspricht. Neue Werte werden in jedem Träger von dem PRBS erzeugt. Ein Polynom des PRBS wird wie folgt dargestellt:

$$G(X) = X^{11} + X^2 + 1.$$

In der Steuerzelle ist ein Realteil gleich 1 und ein Imaginärteil gleich 0, falls der PRBS eine "0" erzeugt, wobei der Realteil gleich -1 und der Imaginärteil gleich 0 ist, falls der PRBS eine "1" erzeugt.

Die Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung 700 bestimmt einen beliebigen Abweichungsbereich des Frequenz-Offsets, erzeugt ein Phasensignal gemäß einem sequentiell-erzeugten Frequenz-Offset, gibt das Phasensignal an den Schleifenfilter 200 aus und bestimmt einen Näherungswert des Frequenz-Offsets gemäß der von der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 ausgegebenen Korrelation.

Fig. 4 zeigt ein strukturelles Blockdiagramm der Frequenz-Offset-Bestimmungseinrichtung 700 gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Frequenz-Offset-Bestimmungseinrichtung 700 weist einen Frequenz-Offsetwert-Generator 710, eine Phasenberechnungseinrichtung 720, eine Vergleichseinheit 730 und eine Steuerung 740 auf.

Der Frequenz-Offsetwert-Generator 710 erzeugt sequentiell eine ganze Zahl oder einen Dezimalanteil bzw. -bruch in einem vorgegebenen Bereich und gibt diesen an die Phasenberechnungseinrichtung 720 aus. Die Phasenberechnungseinrichtung 720 multipliziert den von dem Frequenz-Offsetwert-Generator 710 ausgegebenen Wert mit dem Frequenzwert, der dem Trägerfrequenzintervall entspricht, um ein Phasensignal zu erhalten. Das von der Phasenberechnungseinrichtung 720 ausgegebene Phasensignal wird an den Schleifenfilter 200 ausgegeben, um die Frequenz des empfangenen Signals zu korrigieren. Daten, in welchen die Frequenz korrigiert ist, werden von dem OFDM-Demodulator 500 moduliert, und Korrelationswerte, welche den OFDM-demodulierten Daten entsprechen, werden in der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 berechnet, um diese an die Vergleichseinheit 730 auszugeben. Die Vergleichseinheit 730 vergleicht sequentiell die von der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 ausgegebenen Korrelationswerte, speichert große Korrelationswerte und steuert das Speichern der von dem Frequenz-Offsetwert-Generator 710 ausgegebenen Werte zum Erzeugen der gespeicherten Korrelationswerte als einen Frequenz-Offsetwert. Die Steuerung 740 initialisiert den Frequenz-Offsetwert-Generator 710, die Vergleichseinheit 730 und den Schleifenfilter 200 und schätzt den endgültig erhaltenen Schätzwert des Frequenz-Offsets als einen Offsetwert der empfangenen Frequenz zum Korrigieren der Frequenz in einem aktuellen Kanal ab.

Der Frequenz-Offsetwert-Generator 710 weist einen ersten Generator 711, eine Temporär-Speichereinheit 712, einen zweiten Generator 713, einen ersten Multiplexer 714 und einen zweiten Multiplexer 715 auf.

Der erste Generator 711 erzeugt eine ganze Zahl in einem vorgegebenen Bereich und gibt diese an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 zum Konvertieren des korrigierten Wertes des Frequenz-Offsets aus. Das Empfangssignal wird in dem Derotator 400 mittels des konvertierten Frequenz-Offsetwertes korrigiert und der korrigierte Wert wird an den OFDM-Demodulator 500 ausgegeben. Die Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 berechnet die Korrelation des entsprechenden Zeichens und gibt diese aus. Die Vergleichseinheit 730 vergleicht die Korrelation mit der gespeicherten Korrelation. Gleichzeitig steuert die Vergleichseinheit 730 das Erneuern bzw. Updaten der Temporär-Speichereinheit 712 entsprechend dem Vergleichsergebnis.

Falls der Korrelationswert groß ist, wird der von dem ersten Generator 711 ausgegebene Wert in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeichert. Falls der Korrelationswert klein ist, wird der in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeicherte Wert ohne Erneuern aufrechterhalten.

Der erste Generator 711 erzeugt sequentiell ganze Zahlen in dem vorgegebenen Bereich, und die erzeugten ganzen Zahlen werden in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeichert. Die gespeicherten Werte entsprechen den Näherungswerten der Frequenz-Offsetwerte, die Werte innerhalb 1/2 des Bereiches des Trägerfrequenzintervalls aufweisen.

Fig. 5 zeigt den ersten Generator 711 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der erste Generator 711 weist einen Speicher 750, einen Multiplexer 751, ein Register 752 und einen Addierer 753 auf.

Der Initialwertgenerator 750 erzeugt einen vorgegebenen Initialwert. Der Multiplexer 751 empfängt den Initialwert von dem Speicher 750 und den Rückführ- bzw. Rückkopplungswert, wählt den Initialwert entsprechend dem Initialsignal von der Steuerung 740 aus und gibt diesen aus, und wählt anschließend den Rückführ- bzw. Rückkopplungswert aus und gibt diesen aus. Das Register 752 speichert den von dem Multiplexer 751 ausgegebenen Wert und gibt den gespeicherten Wert entsprechend einem Taktsignal aus. Zu dem von dem Register 752 ausgegebenen Signal wird in dem Addierer 753 eine "1" addiert und das addierte Signal wird an den Multiplexer 751 zurückgeführt.

Der zweite Generator 713 liest den von dem ersten Generator 711 endgültig in der Temporär-Speichereinheit 712 abgespeicherten Wert und erzeugt sequentiell Werte innerhalb eines Bereiches von $\pm 0,5$ von diesen Werten.

Fig. 6 zeigt den zweiten Generator 713 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der zweite Generator 713 weist einen ersten Addierer 760, einen Multiplexer 761 und einen zweiten Addierer 762 auf.

Der Addierer 760 addiert zu dem aus der Temporär-Speichereinheit 712 gelesenen Wert eine "-0,5" und gibt den addierten Wert aus. Der Multiplexer 761 wählt den von dem ersten Addierer 760 ausgegebenen Wert und den von dem

zweiten Addierer 762 ausgegebenen Wert gemäß einem Auswahlsignal sel3 von der Steuerung 740 aus und gibt diese aus. Der Addierer 762 addiert zu dem von dem Multiplexer 761 ausgegebenen Wert eine "1" und führt den addierten Wert zurück zu dem Multiplexer 761.

Die erste Auswahlrichtung 714 wählt die von dem ersten und dem zweiten Generator 711 und 713 gemäß einem Auswahlsignal sel1 von der Steuerung 740 ausgegebenen Werte aus und gibt diese aus.

Die zweite Auswahlrichtung 715 wählt die von der ersten Auswahlrichtung 714 und der Temporär-Speichereinheit 712 gemäß einem Auswahlsignal sel2 von der Steuerung 740 ausgegebenen Werte aus und gibt diese aus.

Die Vergleichseinheit 730 weist einen Komparator 731 und einen Speicher 732 auf. Der Komparator 731 empfängt die Korrelationswerte der von der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 ausgegebenen Zeichenwerte, erfaßt sie sequentiell und speichert die großen Werte in dem Speicher 732, und steuert das Speichern des Ausgabewertes des Frequenz-Offsetwert-Generators 710 zum Erzeugen der in dem Speicher 732 gespeicherten Korrelationswerte in die Temporär-Speichereinheit 712.

Die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 multipliziert den Ausgabewert des Frequenz-Offsetwert-Generators 710 mit dem Trägerfrequenzintervall und gibt den multiplizierten Wert an den Schleifenfilter 200 aus.

Die Steuerung 740 initialisiert den Frequenz-Offsetwert-Generator 710, den Komparator 730 und den Schleifenfilter 200 und wählt in dem letzten Schritt den in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeicherten Wert als den Frequenz-Offsetwert aus und gibt diese Auswahl an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 aus.

Nachfolgend wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung im Detail beschrieben, das für einen OFDM-Frame bzw. -Rahmen bzw. -Bild angewendet wird, der mit 2K Modus in dem europäischen Telekommunikationsstandard kodiert wurde.

Hier hat der OFDM-Frame die Periode T_f und 68 OFDM-Zeichen. Ein Superframe weist 4 Frames auf. Jedes Zeichen hat $K = 1705$ Träger und wird in der Periode T_s übertragen. Ferner weist jedes Zeichen Nutzdaten auf, die in der Periode T_u übertragen werden, und Schutzintervalle, die in der Periode Δ übertragen werden. Es wird hier angenommen, daß das Schutzintervall gleich $1/4$ der Nutzdaten ausmacht. Parameter des OFDM sind wie folgt:

Parameter	2K-Modus
Anzahl der Träger K	1705
Wert der Trägerzahl K_{\min}	0
Wert der Trägerzahl K_{\max}	1704
Dauer T_u	224 μs
Trägerabstand $1/T_u$	4464 Hz
Abstand zwischen Trägern K_{\min} und K_{\max} $(K-1)/T_u$	7,61 MHz

Der erste Generator gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erzeugt sequentiell ganze Zahlen $-S, -S+1, \dots, 0, \dots, S-1, S$. Es wird hier angenommen, daß $S = 27$ ist.

Während der Initialisierung des Systems werden der Speicher 732, die Temporär-Speichereinheit 712 und der erste Generator 711 initialisiert und die gespeicherten Werte werden 0.

Wenn der erste Generator 711 initialisiert ist und eine -27 erzeugt, wählen die erste und die zweite Auswahlrichtung 714 und 715 den von dem ersten Generator 711 ausgegebenen Wert aus und geben diese Auswahl an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 aus. Die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 multipliziert dann die -27 mit dem Trägerintervall, 4464 Hz, und gibt den multiplizierten Wert aus. Mittels des Phasensignalwertes wird die Frequenz des empfangenen Signals, das von einem "Deinterleaver" 400 dem ADC 100 eingegeben wird, korrigiert.

Das korrigierte Signal wird an den OFDM-Demodulator 500 für die Demodulation ausgegeben. Gleichzeitig extrahiert der Extraktor 610 den CPC aus dem demodulierten Zeichen von dem OFDM-Demodulator 500. Der von dem Extraktor 610 ausgegebene CPC wird mit dem vorgegebenen Wert des Korrelators 620 interpoliert und dem Referenzwertgenerator 630 eingegeben, um die Korrelation zu berechnen. Der erhaltene Korrelationswert des Zeichens der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 wird an die Vergleichseinheit 730 ausgegeben und in dem Speicher 732 gespeichert, da er größer als der Initialwert "0" ist. Die Vergleichseinheit 730 steuert das Speichern des Wertes, -27 , der von dem ersten Generator 711 an die Temporär-Speichereinheit 712 ausgegeben wird.

Anschließend gibt der erste Generator 711 eine -26 an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 aus, um den ausgegebenen Wert in der Phasenberechnungs-Einrichtung 720 zu konvertieren, und gibt das Phasensignal entsprechend dem Frequenz-Offsetwert an den Schleifenfilter 200 aus. Der von dem Schleifenfilter 200 ausgegebene Wert wird an den VCO 300 über den Derotator 400 ausgegeben. Der Derotator 400 teilt das eingegebene Signal in die Sinus- und Kosinus-

welle, korrigiert den Frequenz-Offset durch Multiplizieren desselben mit der Frequenz des Ausgangswertes von dem ADC 100 und gibt den korrigierten Wert an den OFDM-Demodulator 500 aus.

Der Extraktor 610 extrahiert den CPC aus dem in dem OFDM-Demodulator 500 demodulierten Zeichen. Die Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 berechnet die Korrelation des extrahierten CPC und des Ausgangswertes von dem Referenzwertgenerator 630. Der Korrelationswert des von der Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 ausgegebenen Zeichens wird mit dem Korrelationswert -27 verglichen, der in der Speichereinheit 730 gespeichert ist, und der größere Wert der verglichenen Werte wird in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeichert. Mit dem oben beschriebenen Prozeß erzeugt der erste Generator 711 sequentiell -27 bis 27, und die Temporär-Speichereinheit 712 speichert die ganze Zahl mit dem maximalen Korrelationswert. Der vorgegebene Wert von dem ersten Generator 711, beispielsweise L, falls L der maximale Korrelationswert ist, wird in der Temporär-Speichereinheit 712 gespeichert.

Gleichzeitig wird der gespeicherte Wert L der Abschätzungswert des Frequenz-Offsets bei dem Frequenz-Offset, der innerhalb 1/2 des Bereiches des Trägerfrequenzintervalls angeordnet ist.

Der zweite Generator 713 liest den von dem ersten Generator 711 aus der Temporär-Speichereinheit 712 erhaltenen endgültigen Wert aus, subtrahiert -0,5 von diesem ausgelesenen Wert und gibt den subtrahierten Wert aus. Die Steuerung 740 steuert die erste und die zweite Auswahlrichtung 714 und 715, um den Ausgabewert von dem zweiten Generator 713 auszuwählen und die Auswahl an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 auszugeben. Die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 multipliziert den Ausgabewert von dem zweiten Generator 713 mit dem Trägerfrequenzintervall und gibt den multiplizierten Wert aus. Der Derotator 400 korrigiert die Frequenz des Kanalsignals. Der OFDM-Demodulator 500 demoduliert das korrigierte Kanalsignal und gibt das Zeichen aus.

Die Korrelationsberechnungs-Einrichtung 600 berechnet die Korrelation von dem von dem OFDM-Demodulator 500 ausgegebenen Zeichen und gibt die Korrelation an die Vergleichseinheit 730 aus. Die Vergleichseinheit 730 vergleicht dann den gespeicherten Korrelationswert mit dem eingegebenen Korrelationswert, erneuert bzw. updatet den abgespeicherten Wert, falls der eingegebene Korrelationswert größer als der gespeicherte Wert ist, und steuert die Temporär-Speichereinheit 712, den Eingabewert des zweiten Generators 713 zu erneuern.

Der zweite Generator 713 addiert zu dem vorhergehenden Ausgabewert eine +1 und gibt den addierten Wert aus. Der addierte Wert wird in der Phasenberechnungs-Einrichtung 720 in das Phasensignal konvertiert und das Phasensignal wird an den Schleifenfilter 200 ausgegeben. Mittels des Phasensignals wird die Frequenz des von dem ADC 100 eingegebenen Kanalsignals korrigiert. Die korrigierte Frequenz wird in dem OFDM-Demodulator 500 moduliert, um das Zeichensignal auszugeben.

Wie oben beschrieben, wird der endgültig abgespeicherte Wert in der Temporär-Speichereinheit 712 als der Abschätzungswert des Frequenz-Offsets des empfangenen Kanalsignals bestimmt.

Der oben bestimmte Abschätzungswert des Frequenz-Offsets wird der Wert, der innerhalb 1/4 des Bereiches des Trägerfrequenzintervalls abgeschätzt ist.

Dementsprechend steuert die Steuerung 740 die zweite Auswahlrichtung 715, um den gespeicherten Wert an die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 auszugeben. Die Phasenberechnungs-Einrichtung 720 empfängt den Ausgabewert von der zweiten Auswahlrichtung 715, um das Phasensignal zu berechnen, und gibt das berechnete Phasensignal an den Schleifenfilter 200 aus. Der Ausgabewert von dem Schleifenfilter 200 wird an den Spannungssoszillator bzw. Spannungsregelungssoszillator 300 über den Derotator 400 ausgegeben. Der Derotator 400 korrigiert die Frequenz des von dem ADC 100 eingegebenen Kanalsignals, in dem der Frequenz-Offset an 1/4 des Bereiches des Trägerfrequenzintervalls gebunden ist.

Wie oben beschrieben, kann eine schnellere Frequenz-Synchronisation als der nicht-korrigierte Frequenz-Offset durch Synchronisieren des korrigierten Signals verwirklicht werden.

Während die Erfindung anhand ausgewählter Ausführungsbeispiele erläutert wurde, liegt es für den Durchschnittsfachmann in seinem fachmännischen Können, zahlreiche Änderungen und Modifikationen der in den Ansprüchen beschriebenen Erfindung vorzunehmen, ohne die Erfindungsidee zu verlassen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Korrigieren eines Frequenz-Offsets in einem OFDM-Empfangssystem, mit:

- einem Schleifenfilter (200) zum Empfangen eines vorgegebenen Phasenwertes, wobei der Phasenwert mit einem Verstärkungsfaktor multipliziert wird, die multiplizierten Werte akkumuliert werden und die akkumulierten Werte ausgegeben werden;
- einem Spannungsregelungssoszillator (300) zum Multiplizieren des von dem Schleifenfilter (200) ausgegebenen akkumulierten Wertes mit einem Verstärkungsfaktor, zum Rückkoppeln bzw. Rückführen des Ergebnisses und zum Addieren der Rückkopplungs- bzw. Rückführungswerte;
- einem Derotator (400) zum Ermitteln einer Sinus- und einer Kosinuswelle aus dem von dem Spannungsregelungssoszillator (300) ausgegebenen Ergebnis, zum Multiplizieren der erhaltenen Werte mit einem Ausgangssignal von einem A/D-Wandler (100), und zum Ausgeben des multiplizierten Wertes an einen OFDM-Demodulator (500);
- einer Korrelation-Berechnungseinrichtung (600) zum Berechnen eines Korrelationswertes aus einem von dem OFDM-Demodulator (500) ausgegebenen Wert; und
- einer Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung (700) zum Erzeugen eines Phasensignals gemäß einem sequentiell innerhalb eines vorgegebenen Frequenz-Offset-Bereichs ausgegebenen Frequenz-Offsets, zum Ausgeben des Phasensignals an den Schleifenfilter (200), zum Bestimmen eines Näherungswertes des Frequenz-Offsets innerhalb 1/4 des Bereichs des Trägerfrequenzintervalls unter Verwendung eines von der Korrelationsberechnungseinrichtung (600) für ein korrigiertes Zeichen ausgegebenen Wertes und zum Korrigieren des Frequenz-Offsets gemäß einem endgültig bestimmten Abschätzungswert des Frequenz-Offsets.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz-Offset-Abschätzeinrichtung (700) auf-

weist:

- einen Frequenz-Offsetwert-Generator (710) zum sequentiellen Erzeugen und Ausgeben einer ganzen Zahl oder eines Dezimalanteils bzw. -bruchs in einem vorgegebenen Bereich als ein Frequenz-Offsetwert;
 - eine Temporär-Speichereinheit (712) zum Speichern eines Ausgabewertes von dem Frequenz-Offsetwert-Generator (710);
 - einen Komparator (731) zum Steuern der Speicherung eines größeren Wertes aus den Korrelationswerten, die an die Korrelationsberechnungseinrichtung (600) ausgegeben werden, und dem Ausgabewert von dem Frequenz-Offsetwert-Generator (710), der zum Erzeugen von in der Temporär-Speichereinheit (712) gespeicherten Korrelationswerten verwendet wird;
 - einer Phasenberechnungs-Einrichtung (720) zum Multiplizieren des Ausgabewertes von dem Frequenz-Offsetwert-Generator (710) mit dem Trägerfrequenzintervall, um das Phasensignal zu erhalten; und
 - einer Steuerung (740) zum Steuern der Initialisierung des Frequenz-Offsetwert-Generators (710), der Temporär-Speichereinheit (712), des Komparators (731) und des Schleifenfilters (200), des Auswählens eines in der Temporär-Speichereinheit (712) als der Frequenz-Offsetwert gespeicherten Wertes und des Ausgebens des ausgewählten Wertes an die Phasenberechnungs-Einrichtung (720) über den Schleifenfilter (200).
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Frequenz-Offsetwert-Generator (710) aufweist:
- einen ersten Generator (711) zum sequentiellen Erzeugen einer ganzen Zahl in einem vorgegebenen Bereich;
 - einen zweiten Generator (713) zum sequentiellen Erzeugen von Werten durch Addieren oder Subtrahieren von 0,5 zu oder von den in der Temporär-Speichereinheit (712) gespeicherten ganzen Zahlen; und
 - einer Auswahlrichtung (714, 715) zum Auswählen und Ausgeben der Ausgabewerte von dem ersten und dem zweiten Generator (711, 713).
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrelationsberechnungseinrichtung (600) die Korrelation unter Verwendung von CPC's berechnen, die an einer vorgegebenen Stelle der von dem OFDM-Demodulator (500) ausgegebenen Zeichen enthalten sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrelationsberechnungseinrichtung (600) aufweist:
- einen Extraktor (610) zum sequentiellen Extrahieren lediglich der CPC's an einer vorgegebenen Stelle der von dem OFDM-Demodulator (500) ausgegebenen Zeichenfolgen;
 - einen Referenzwertgenerator (630) zum Erzeugen von Referenzwerten der von einem Übertragungsende erzeugten CPC's; und
 - einen Korrelator (620) zum Berechnen einer Korrelation unter Verwendung der von dem Extraktor (610) ausgegebenen CPC's und des Ausgabewertes von dem Referenzwertgenerator (630), und zum Ausgeben des Korrelationswertes in Zeicheneinheiten durch Akkumulieren der berechneten Korrelationswerte.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenzwertgenerator (630) zum Verarbeiten von PRBS ausgelegt ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

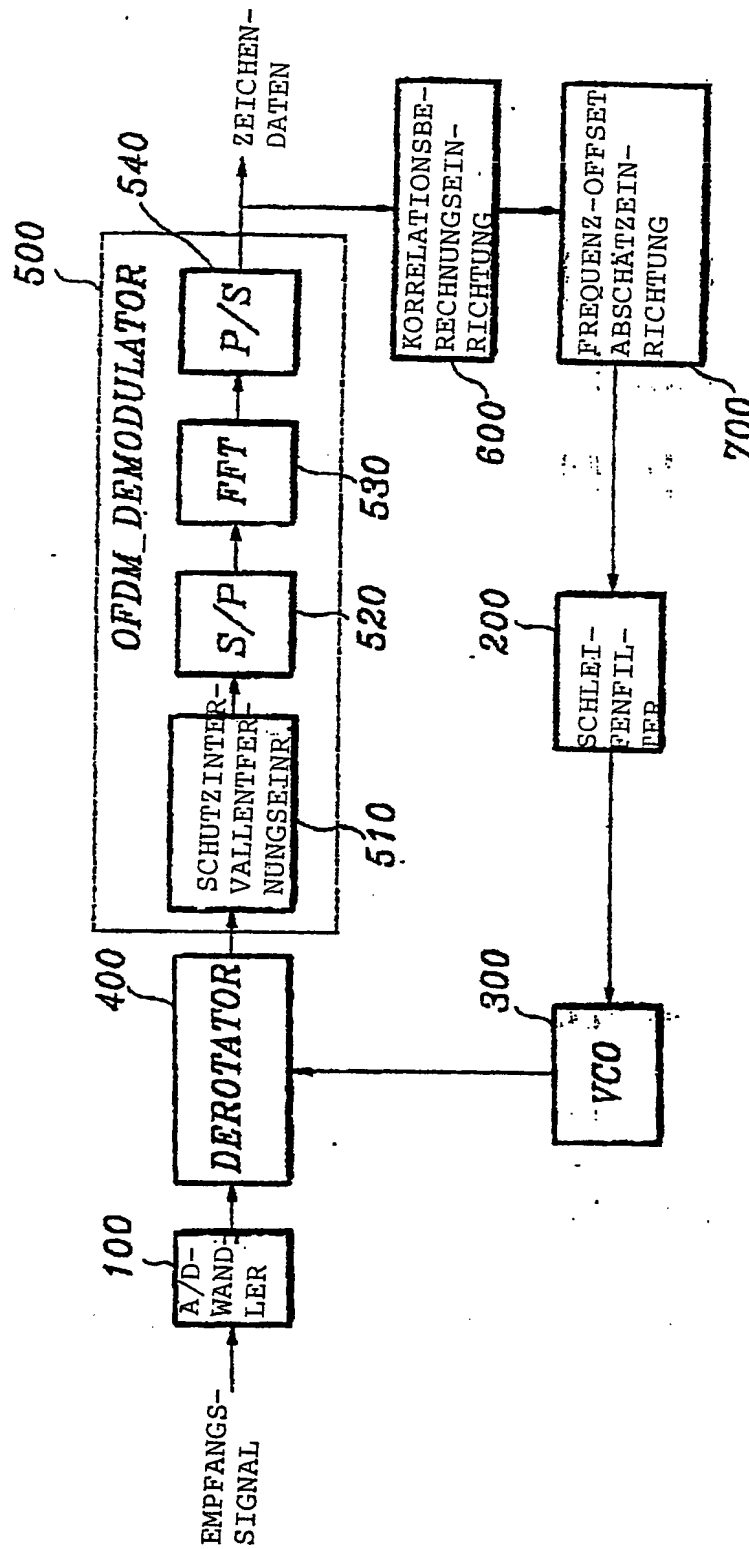


FIG. 2

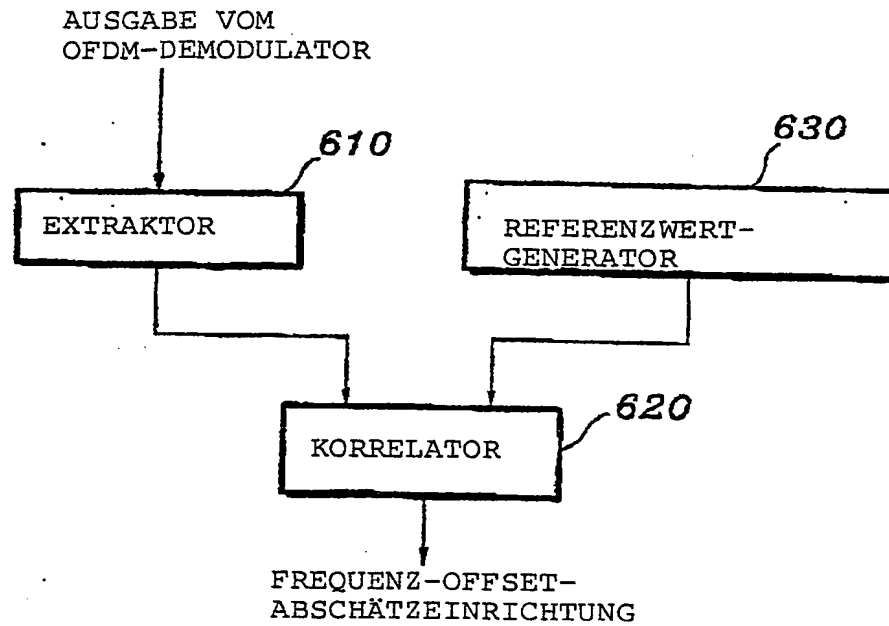


FIG. 3

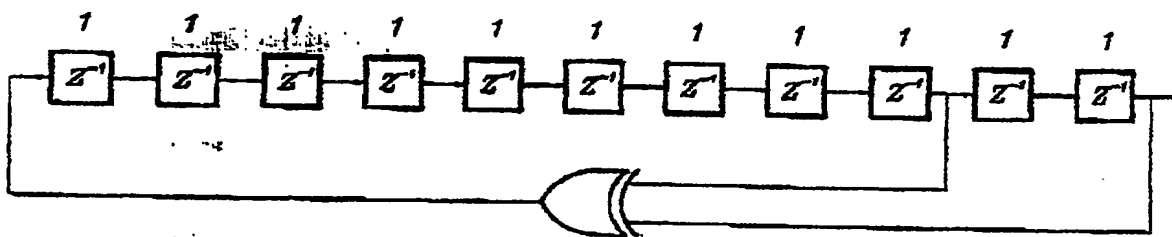


FIG. 4

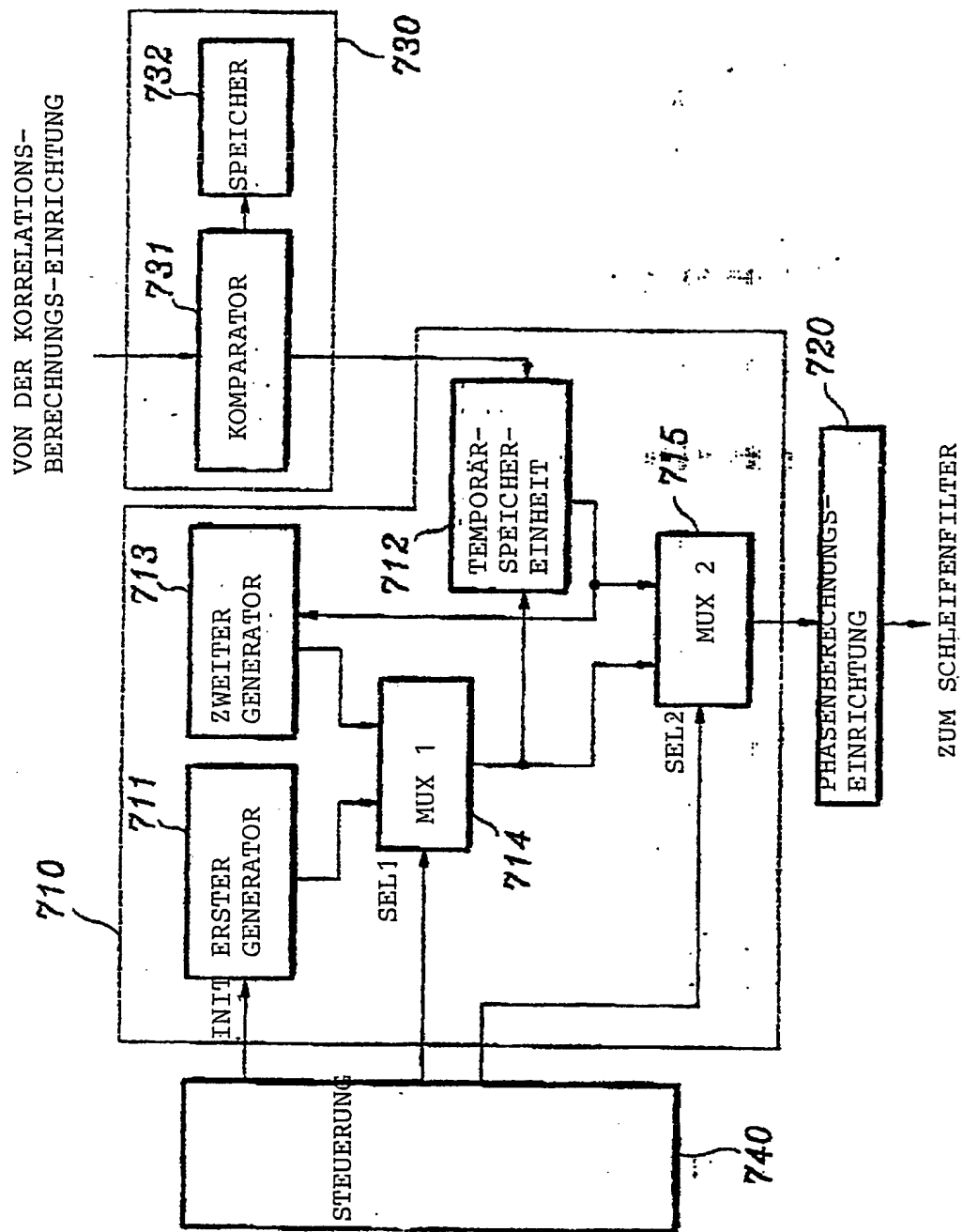


FIG. 5

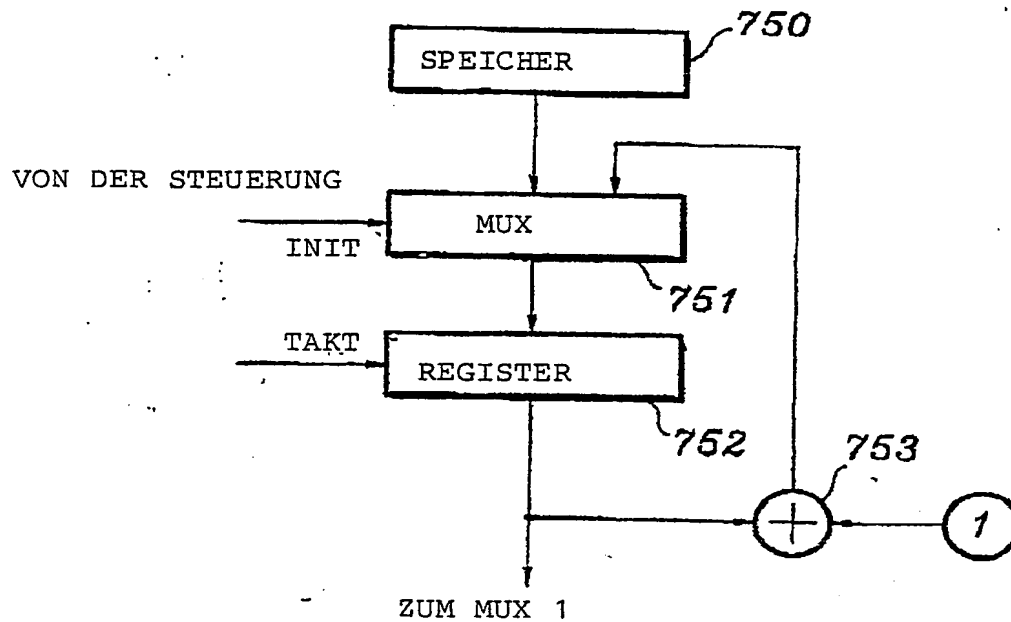
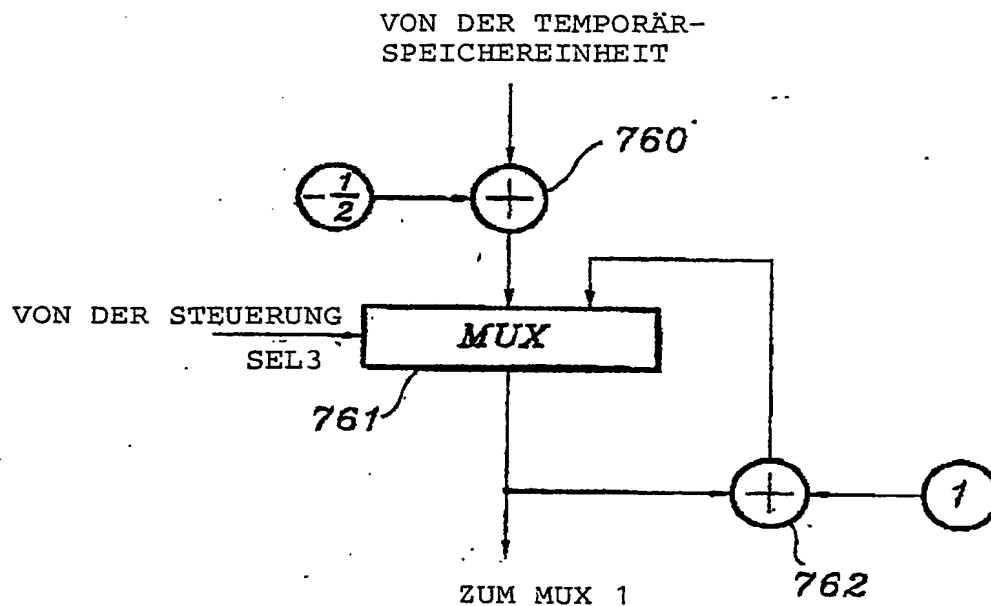


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)